

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования



**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Направление подготовки/профиль 12.06.01 Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии/ 05.11.13 Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий
Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Отделение электронной инженерии

**Научный доклад об основных результатах подготовленной
научно-квалификационной работы**

Тема научного доклада
Акустический контроль геометрических параметров паллет

УДК 620.179.17.08:621.869.82

Аспирант

Группа	ФИО	Подпись	Дата
А4-33	Костина Мария Алексеевна		

Руководителя профиля подготовки

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ИШФВП	Юрченко Алексей Васильевич	Д.т.н.		

Руководитель отделения

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Баранов Павел Федорович	К.т.н.		

Научный руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ИШФВП	Бразовский Константин Станиславович	Д.т.н.		

Томск – 2018 г.

Актуальность.

Практически любому торговому предприятию нужны поддоны, поскольку торговля связана с транспортировкой товара от производителя к торговой точке или потребителю. К качеству поддонов для транспортировки товаров предъявляются достаточно жесткие требования, так как от этого зависит сохранность перевозимой продукции. Оперативная оценка качества поддона с целью выявления поломки или отклонения от установленных геометрических размеров является актуальной задачей для технологического процесса, в то время как попадание на конвейер непригодного поддона приводит к остановке конвейера и существенным экономическим потерям. Одним из неразрушающих методов контроля геометрических параметров поддонов является акустический метод. Автоматизированные системы контроля, основанные на акустическом методе, позволяют с высокой скоростью проводить оценку разных характеристик поддона, выявлять разного рода дефекты и контролировать габаритные параметры.

Целью диссертационной работы является разработка и изготовление простого и удобного в эксплуатации прибора, который позволял бы оперативно проводить контроль геометрических параметров и качества поддонов.

Для достижения этой цели представляется необходимым решение следующих **задач** исследования:

1. Определить влияние соотношения частот, температуры окружающего воздуха, неравномерность площади отражающей поверхности и др. на погрешности измерения расстояния.
2. Провести теоретические и экспериментальные исследования точности измерения геометрических размеров паллет.
3. Определить технические и эксплуатационные требования, для разработки макетного образца прибора и провести его испытания

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Устройство для определения геометрических параметров паллет с применением метода двухчастотного зондирования с фазовой коррекцией.

2. Метод двухчастотного зондирования с фазовой коррекцией, позволяющий повысить точность акустических измерений более чем в 2 раза.

Список использованных источников

1. Sorokin P.V. и др. Influence of the echo shapes on the result of tomographic image // 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). : IEEE, 2015. С. 1–4.

2. ГОСТ 9557-87 Поддон плоский деревянный размером 800x1200 мм. Технические условия (с Изменением N 1). – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 6 с.

3. ГОСТ 9078-84 Поддоны плоские. Общие технические условия (с Изменением N 1). – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 10 с.

4. UIC 435-2 Standard of quality for a European flat wood pallet, with four entries and measuring 800 mm x 1 200 mm. – 2005. – 56 с.

5. Солдатов А.И. Определение временного положения акустического импульса методом аппроксимации огибающей сигнала. / Солдатов А.И., Сорокин П.В., Макаров В.С.// Известия Южного федерального университета. – Технические науки, 2009. – № 10. – с. 178-184.

6. Шульгина, Ю.В. Повышение точности ультразвуковых измерений методом двух компараторов [Электронный ресурс] / Ю. В. Шульгина, А. И. Солдатов // Известия Южного федерального университета. Технические науки : научно-технический и прикладной журнал. – 2010. – Т. 110, № 9. – [С. 102-106].

7. Солдатов А.И. Ультразвуковая аппаратура с волноводным акустическим трактом: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук : спец. 05.11.13 / А.И. Солдатов ;

Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ); науч. конс. Г. С. Евтушенко. – Томск, 2011. – 40 с.

8. Zhang D. и др. The experimental investigation of ultrasonic properties for a sonicated contrast agent and its application in biomedicine // *Ultrasound Med. Biol.* 2000.

9. Определение момента прихода эхо-импульса для метода двухчастотного зондирования. / Старостин А.Л., Асочаков А.С., Шульгина Ю.В. // Сборник трудов XXI Международной научной конференции "Современные техника и технологии" – 2015 –. С. 292–294.

10. Преимущества и недостатки существующих методов НК / Ларин А.А. – диссертация на соискание ученой степени к.т.н. "Способы оценки работоспособности изделий из композиционных материалов методом компьютерной томографии" – Москва, 2013. – 45 с.

11. Системы наполнения, упаковки и обработки – [Электронный ресурс] / Автоматическая система контроля и контроля качества поддонов ОСМЕ – Режим доступа: http://www.ocme.co.uk/pallet_inspection.htm – Заглавие с экрана. – яз. англ. (Дата обращения 11.12.2017)

12. The world of conveyor technology – [Электронный ресурс] / Automatic pallet inspection station – Режим доступа: http://www.wtt-foerdertechnik.de/produkte_en/automatic-conveyors-for-pallets-automatic-pallet-inspection-station.php – Заглавие с экрана. – яз. англ. (Дата обращения 15.12.2017)

13. Industry search – [Электронный ресурс] / ОСМЕ Pallet Checker – Режим доступа: <https://www.industrysearch.com.au/ocme-pallet-checker/p/98767> – Заглавие с экрана. – яз. англ. (Дата обращения 11.12.2017)

14. Сайт компании KÖHL [офиц. сайт] – [Электронный ресурс] / Empty pallet checking system (LPK) – Режим доступа: <http://www.koehl.eu/en/products/intralogistics/intralogistiq/empty-pallet->

checking-system-lpk/#prettyPhoto – Заглавие с экрана. – яз. англ. (Дата обращения 13.12.2017)

15. Packaging revolution – [Электронный ресурс] / CHER Improves Damage Inspection Scanning with Reflex Array Sensor – Режим доступа: <https://packagingrevolution.net/sick/> – Заглавие с экрана. – яз. англ. (Дата обращения 18.12.2017)

16. Богуш М.В. Проектирование пьезоэлектрических датчиков на основе пространственных электротермоупругих моделей / Богуш М.В., Панич А.Е. (ред.). – М.: Техносфера, 2014. – 311 с.

17. Kocbach J. Finite Element Modeling of Ultrasonic Piezoelectric Transducers // Thesis-Dissertation. 2000.

18. Преимущества и недостатки существующих методов НК / Ларин А.А. – диссертация на соискание ученой степени к.т.н. "Способы оценки работоспособности изделий из композиционных материалов методом компьютерной томографии" – Москва, 2013. – 45 с.

19. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Варгафтик Н.Б. – М.: Наука, 1972. – 721 с.

20. Валетов В.А. Основы производства радиоэлектронной аппаратуры: учебное пособие / В.А. Валетов. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2007 – 112с

21. Гормаков А.Н., Воронина Н.А. Конструирование и технология электронных устройств приборов. Печатные платы: Учебное пособие / А.Н. Гормаков, Н.А.Воронина. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 164 с.

22. ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 27 с.

23. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 1: В 2 кн. Кн. 1 – М.: Машиностроение, 2003 – 656 с.

24. ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике (ССНТ). Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2016. – 28 с.

25. Иванов В.И., Власов И.Э. Современные требования к методам и средствам неразрушающего контроля //Тезисы докладов 7-й Международной

конференции “Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности” – М., 2008. – С. 129.

26. Федосов А.В. Гайнуллина Л.А. Методы неразрушающего контроля // Электротехнические и информационные комплексные системы. - № 2, Т.11, - 2015. С. 73-78.

27. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В.В. Ключева. Т. 2: В 2 кн. Кн. 1 – М.: Машиностроение, 2003. – 688 с.

28. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. – М.: Изд-во Спектр, 2009. – 544 с: ил.

29. Калиниченко Н.П. Визуальный и измерительный контроль : учебное пособие для подготовки специалистов I, II и III уровня. / Н.П. Калиниченко, А.Н. Калиниченко. –Томск : Изд-во ТПУ, 2009. – 299 с.

30. Инструкция по визуальному и измерительному контролю. РД 03-606-03. – М.:ДЕАН, 2010. – 312 с.

31. А.К.Гурвич, И.Н.Ермолов, С.Г.Сажин. Неразрушающий контроль. /под ред. В.В.Сухорукова. кн.1. Общие вопросы. Контроль проникающими веществами. – М.: Высшая школа, 1992 – 241 с. : ил.

32. Боровиков А.С., Прохоренко П.П., Дежкунов Н.В. Физические основы и средства капиллярной дефектоскопии. –Минск : Наука и техника, 1983. – 256 с.: ил.

33. Сайфутдинов С.М. Капиллярный контроль: история и современное состояние //В мире неразрушающего контроля. – 2008. - №. 1. – с. 14-18

34. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение. М.: Мир, 1988 г. – 420 с.

35. Нестерук Д.А., Вавилов В.П. Тепловой контроль и диагностика: учебное пособие для подготовки специалистов I, II, III уровня. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 104 с.

36. Шелихов, Г. С. Магнитопорошковый контроль за 45 лет / Г. С. Шелихов // Контроль. Диагностика. - 2009. – N 4. – С. 30-34.

37. Горкунов Э.С. Магнитопорошковая дефектоскопия и магнитная структуроскопия. – Екатеринбург: УрО РАН, 1999. – 140 с
38. Толмачев И.И. Магнитные методы контроля и диагностики: учебное пособие / И.И. Толмачев. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 216 с.
39. Неразрушающий контроль. Справочник: В 8 т. / Под ред. В.В. Клюева, т.2, Кн. 2: Вихретоковый контроль. – М.: Машиностроение, 2003. – 688 с.
40. Шубочкин А.Е. Развитие и современное состояние вихретокового метода неразрушающего контроля. М. : Спектр, 2014 . – 288 с.
41. Электромагнитные и магнитные методы неразрушающего контроля материалов и изделий: монография / А. И. Потапов, В. А. Сясько, П. В. Соломенчук, А. Е. Ивкин, Д. Н. Чертов, Т. 2: Электромагнитные и магнитные методы дефектоскопии и контроля свойств материалов. Санкт-Петербург : Нестор-История –2015. – 438 с. : ил.
42. Неразрушающий контроль. Справочник: В 8 т. / Под ред. В.В. Клюева, т.1, Кн. 2: Радиационный контроль. – М.: Машиностроение, 2003. – 560 с.
43. Неразрушающий контроль. Справочник: В 8 т. / Под ред. В.В. Клюева, т.3: Ультразвуковой контроль. – М.: Машиностроение, 2003. – 864 с.
44. Базулин Е.Г. Определение типа отражателя по изображению, восстановленному по эхосигналам, измеренным ультразвуковыми антенными решетками // Дефектоскопия – 2014 – № 3 – С. 12-22
45. Алешин Н.П. Современное оборудование и технологии неразрушающего контроля ПКМ / Н.П. Алешин, М. В. Григорьев, Н. А. Щипаков // Инженерный вестник – 2015 – №1 – С. 533 - 538.
46. Самокрутов А.А. Ультразвуковая эхо-томография металлоконструкций. Состояние и тенденции / А.А. Самокрутов, В.Г. Шевалдыкин // Заводская лаборатория. Диагностика материалов – 2007. -Т. 73. - № 1. - С. 50-59.

47. Козлов В.Н. Акустическая В- и С-томография крупноструктурных материалов импульсным эхометодом / В.Н. Козлов, А.А. Самокрутов, Н.Н. Яковлев, А.В. Ковалев, В.Г. Шевалдыкин // Приборы и системы управления – 1989. – №7. – с. 21-23
48. Кретов Е.Ф. Ультразвуковая дефектоскопия в энергомашиностроении – СПб.: СВЕН, 2007. – 296 с.
49. Ермолов И.Н., Ланге Ю.В. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Том 3: Ультразвуковой контроль. / Под общ. ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2004. – 864 с: ил.
50. ГОСТ 23829-85 Контроль неразрушающий акустический. Термины и определения
51. Шрайбер Д.С. Ультразвуковая дефектоскопия. – М.: Metallurgy, 1965. – 416с.
52. Выборнов Б.И. Ультразвуковая дефектоскопия – М.: "Металлургия" –1974.
53. Introduction to phased array ultrasonic technology applications: R/D Tech Guideline: Guideline coordinator Noel Dube. – Quebec, Canada: R/D Tech Inc., 2004, – 348 p.
54. Ultrasonic Arrays for Quantitative Nondestructive Testing an Engineering Approach / Bolotina I. O. , Djyakina M. E. , Krening M. K. , Mokhr F. , Reddi K. M. , Soldatov A. I. , Zhantlesov E. // Russian Journal of Nondestructive Testing . - 2013 - Vol. 49 - №. 3. - p. 145-158 .
55. Berke M., Bechler J. Ultrasonic imaging in automatic and manual testing. // ECNDT 2006 - We.3.1.5
56. Mustafa Karaman, Pai Chi Li, Matthew O'Donnell. Synthetic Aperture Imaging for Small Scale Systems. // IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 1995, V. 42, Issue 3, pp. 429-442.
57. A. Elgarem Multidepth synthetic aperture processing of ultrasonic data. // IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control , 1989, Volume: 36, Issue: 3 , pp. 384 - 385.

58. Hunter, A.J., Drinkwater, B.W. and Wilcox, P.D. The wavenumber algorithm for full-matrix imaging using an ultrasonic array. // *Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control*, IEEE Transactions on, 2008; 55(11):2450-2462
59. Thomenius, K. Evolution of Ultrasound Beamformers // *IEEE Ultrasonics Symposium*, 1996; 2, 1615-1622
60. Крауткремер Й., Крауткремер Г. Ультразвуковой контроль материалов: Справочник / Й. Крауткремер, Г. Крауткремер; Пер. с нем. – М.: Металлургия, 1991. – 752 с.
61. Chiao, R.Y. and Thomas, L.J. Analytical evaluation of sampled aperture ultrasonic imaging techniques for NDE. // *Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control*, IEEE Transactions on, 1994; 41(4):484-493
62. Y. Labyed, L. Huang, Ultrasound time-reversal MUSIC imaging with diffraction and attenuation compensation // *IEEE Trans. Ultrason., Ferroelectrics, Frequency Control* 59 (2012) 2186-2200.
63. F.K. Gruber, E.A. Marengo, A.J. Devaney Time-reversal imaging with multiple signal classification considering multiple scattering between the targets, *J. Acoust. Soc. Am.* 115 (2004) 3042-3047.
64. E.A. Marengo, F.K. Gruber, F. Simonetti, Time-reversal MUSIC imaging of extended targets // *IEEE Trans. Image Process.* 16 (2007) 1967-1984.
65. R. Schmidt, Multiple emitter location and signal parameter estimation // *IEEE Trans. Anten. P.* 34 (1986) 276-280.
66. J.W. Odendaal, E. Barnard, C.W.I. Pistorius, Two-dimensional super resolution radar imaging using the MUSIC algorithm // *IEEE Trans. Anten. P.* 42 (1994) 1386-1391.
67. T. Iwata, Y. Goto, H. Susaki, Application of the multiple signal classification (MUSIC) method for one-pulse burst-echo Doppler sonar data // *Meas. Sci. Technol.* 12 (2001) 2178-2184.

68. E.G. Asgedom, L.-J. Gelius, A. Austeng, S. Holm, M. Tygel, Time-reversal multiple signal classification in case of noise: a phase-coherent approach // J. Acoust. Soc. Am. 130 (2011) 2024-2034.
69. Горелик Г.С. Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику (2-е издание). - М.: Физматлит, 1959. – 572 с.
70. Скучик Е. Основы акустики. В 2 т. Т. 1. – М.: Мир, 1976. – 520 с.
71. Скучик Е. Основы акустики. В 2 т. Т. 2. – М.: Мир, 1976. – 542 с.
72. Зелкин Е.Г. Построение излучающей системы по заданной диаграмме направленности. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 272 с.
73. Амитей Н., Галиндо В., Ву Ч. Теория и анализ фазированных антенных решёток; Пер. с англ. под ред. А.Ф. Чаплина. – М.: Мир, 1974. – 455 с.
74. G.B.Airy. Mathematical Tracts On The Indulatory Theory Of Optics. - Cambridge. – 1842. – 412 p.
75. Анго А. Математика для электро- и радиоинженеров; Пер. с франц. под ред. К.С.Шифрина.- М.: Наука, 1965. – 780 с.
76. Справочник по элементам радиоэлектронных устройств; Под ред. В.Н. Дулина, М.С. Жука. – М.: Энергия, 1977. – 576 с.
77. Ультразвуковые преобразователи / Под ред. Е. Кикучи; Пер. с англ. – М.: Мир, 1972. – 424 с.
78. Ультразвуковые преобразователи для неразрушающего контроля / Под общ. ред. И.Н. Ермолова. – М.: Машиностроение, 1986. – 280 с.
79. Стретт Дж. В. (лорд Рэлей) Теория звука. – М.: ГИТТЛ, 1955. – Т. 1. – 503 с.
80. Воскресенский Д.И., Канащенков А.И. Активные фазированные антенные решетки. М.: Радиотехника, 2004, 488 с.
81. С.В.Кунегин. Системы передачи информации. Курс лекций. М., 1997, - 317 с

82. Верлань, А. Ф. Мультипликативная обработка угловых спектров акустических когерентных изображений [Текст] / А. Ф. Верлань, И. М. Гвоздева, // Электронное моделирование. – 2005. – Т. 27, №5. – С. 53 – 62

83. Корн Г. , Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров) М.:Наука 1970. 720 с.

84. Патент RU 2 599 602 С1 «Способ компенсации погрешности измерения ультразвукового локатора» по заявке № 2015122824/28 от 15.06.2015, опубл. 10.10.2016, Бюл. № 28/ Солдатов А.И., Шульгина Ю.В., Солдатов А.А., Сорокин П.В., Солдатова М.А.

85. Патент RU 2 596 907 С1 «Устройство компенсации погрешности измерения ультразвукового локатора» по заявке №2015122093/28 от 09.06.2015, опубл. 10.09.2016, Бюл. № 25 / Солдатов А.И., Шульгина Ю.В., Солдатов А.А., Сорокин П.В., Солдатова М.А., Шульгин Е.М.

86. Shulgina Y.V., Soldatov A.A., Shulgin E.M., Kudryashova A.V. – Acoustic borehole depth-gauge with the dual-frequency sensing method // Source of the Document 2016 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2016: proceedings, 12-14 May 2016.

87. Ultrasonic Borehole Depth-Gauge [Electronic resources] / A. I. Soldatov, J. V. Shulgina (Chiglintseva) // International Siberian Conference on Control and Communications. Sibcon-2009 : proceedings Russia, Tomsk, March 27-28, 2009. – Tomsk: 2009. – [P. 313-317].

88. Shulgina Y.V. и др. Simulation of acoustic signals in a waveguide of circular cross section // 2015 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS). : IEEE, 2015. С. 1–4.

89. Shulgina Y. V. и др. Distance determination based on dual frequency method with phase correction // 2017 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). : IEEE, 2017. С. 1–4.

90. Soldatov A.I. и др. An auger spectrometer control system // 2016 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). : IEEE, 2016. С. 1–4.

91. Soldatov A.I. и др. System for automatic sorting of pallets // 2016 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). : IEEE, 2016. С. 1–4.

92. Sorokin P. V. и др. Software-hardware system for measurement of the pallet dimensions // 2017 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). : IEEE, 2017. С. 1–5.